

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Метрологія та вимірювальна
техніка»**

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

**на тему: «Інформаційно-вимірювальна система параметрів
атмосферного повітря»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ВМ-61-1

Острожний М.М.

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент

Павлишин Микола Михайлович

Рецензент:

Ст. викладач

Козир Олег Васильович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкту	2	
2	A4	ДП ВМ61-1.41415.001 ПЗ	Пояснювальна записка	64	
3	A1	ДП ВМ61-1.41415.001 Е1	Схема електрична структурна	1	
4	A1	ДП ВМ61-1.41415.001 Е2	Схема електрична функціональна	1	
5	A1	ДП ВМ61-1.41415.001 Е3	схема електрична принципова	1	

				ДП ВМ61-1.41415.001 ВП		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Розробн.	Острожний М.М.				1	1
Керівн.	Павлишин М.М.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПБФ Гр. ВМ-61-1	
Консульт.						
Н/контр.	Щербань А.П.					
Зав.каф.	Еременко В.С.					

Анотація

У дипломному проекті розроблено ІВС. Проведено ретельний аналіз існуючих рішень та методів реалізації операцій вимірювання температури, вологості та рівня концентрації часток. Для розробки системи обрано найбільш підходящі технічні засоби з точки зору забезпечення необхідної точності та вартості кінцевого готового продукту.

Abstract

In the diploma project the IVS is developed. A thorough analysis of existing solutions and methods of implementing operations for measuring temperature, humidity and particle concentration. The most suitable technical means in terms of ensuring the required accuracy and cost of the final finished product have been selected for the development of the system.

Анотация

В дипломном проекте разработаны ИВС. Проведен тщательный анализ существующих решений и методов реализации операций измерения температуры, влажности и концентрации частиц. Для разработки системы выбрана наиболее подходящие технические средства с точки зрения обеспечения требуемой точности и стоимости конечного готового продукта.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Інформаційно-вимірювальних технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

" ____ " червня 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проект

**«Інформаційно-вимірювальна система параметрів атмосферного
повітря»**

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломної роботи:

к.т.н., доц. Павлишин М.М.

" ____ " _____ 2020 р.

Дипломник:

студент групи ВМ-61-1

Острожний М.М.

" ____ " _____ 2020 р.

Залікова книжка _____

Київ – 2020 року

1.1 Найменування та галузь використання

1.1.1 ІВС якості атмосферного повітря.

1.1.2 Галузь використання – промисловість та моніторинг екологічного стану повітря.

1.2 Підстави для розробки

Даний проект виконується на основі завдання на дипломне проектування на тему «Інформаційно-вимірювальна система параметрів атмосферного повітря» затвердженого кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки від 05 лютого 2020 р.

1.3 Мета розробки і призначення продукції

1.3.1 Метою розробки є створення базового зразка окремої ІВС.

1.3.2 Призначення конструкції: ІВС знаходить застосування при регулюванні якості повітря.

1.4 Джерела розробки

Джерелами розробки є друковані видання вітчизняної та зарубіжної науково технічної літератури, довідкові матеріали, державні стандарти, інформаційні ресурси мережі Internet, каталоги продукції провідних виробників.

1.5 Технічні вимоги

1.5.1 Вимоги до експлуатаційних, технічних і метрологічних характеристик ІВС.

1.5.2 Технічні і метрологічні характеристики

- Вимірювані величини – вміст часток пилу, вологість, температура.
- Діапазон вимірювань вологості : 0 — 100%.
- Температурний діапазон : -40 — +80 °С.
- Діапазон вимірювань часток пилу : 0-300/ 0-1999,9 мкг/м³
- Межа допустимої основної зведеної похибки вимірювання – 0,5°.
- Додаткова похибка від зміни температури зовнішнього середовища від -40 °С до максимального значення робочої температури на кожні 10 °С не перевищує половини допустимої основної похибки.

1.5.3 Вимоги до кліматичного використання і транспортування

Нормальні умови використання відповідно до ГОСТ 15150-69 наведено у
Таблиця 1.5.1 – Нормальні умови експлуатації

Таблиця 1.5.1 – Нормальні умови експлуатації

Величина, що впливає	Номінальні значення та їх відхилення
Температура навколишнього середовища, °C	20±5
Відносна вологість, %	80±2

Робочі умови експлуатації наведено у Таблиця 1.5.2 – Робочі умови експлуатації

Таблиця 1.5.2 – Робочі умови експлуатації

Величина, що впливає	Номінальні значення та їх відхилення
Температура навколишнього середовища:	
- нижнє значення, °C	-30
- верхнє значення, °C	+50
Відносна вологість при температурі навколишнього середовища 35 °C, %	90

ІВС повинна зберігати зовнішній вигляд і свої параметри відповідно до вимог кліматичного виконання УХЛ категорії приміщення 4.2 за ГОСТ 15150-69.

Вимоги до транспортування наведено у Таблиця 1.5.3 – Граничні умови транспортування

Таблиця 1.5.3 – Граничні умови транспортування

Впливаюча величина	Номінальні значення та їх відхилення
Температура зовнішнього середовища, - нижнє значення, °C - верхнє значення, °C	-10 +70
Відносна вологість при температурі 25 °C, %	90
Максимальне прискорення механічних ударів при частоті 80-120 ударів в хвилину	30 м/с ²

Вимоги до зберігання наведено у

Таблиця 1.5.4 – Умови зберігання

Таблиця 1.5.4 – Умови зберігання

Впливаюча величина	Номінальні значення та їх відхилення
Температура зовнішнього середовища, - нижнє значення, °C - верхнє значення, °C	0 +45
Відносна вологість при температурі 35 °C, %	90

Вимоги до часу встановлення робочого режиму

Для більш точного вимірювального процесу потрібно 10 хвилин .

Вимоги до електричної міцності і опору ізоляції

ІВС повинен мати світлову індикацію ввімкнення живлення.

З тильної сторони корпусу модулю повинна бути встановлена клема заземлення.

1.6 Вимоги до конструкції

ІВС повинна відповідати вимогам до конструкції наведено у Таблиця 1.6.1 – Габарити та вага складових ІВС

Таблиця 1.6.1 – Габарити та вага складових ІВС

Найменування	Розмір hхlхb, m	Вага, kg
ІВС	0.5 х 0.5 х 0.15	3
Бокс живлення	0.075 х 0.080 х 0.020	0,03

1.7 Вимоги до електроживлення

Живлення ІВТ повинно здійснюватися від акумулятора постійного струму напругою 12-24V і $\pm 1,5$ V, або від акумулятора постійного струму, який заряджається від сонячної панелі, напругою 12-24 $\pm 1,5$ V і частотою (50 \pm 0,5) Гц.

1.8 Вимоги до надійності

Вимоги надійності не встановлюються.

1.9 Вимоги до безпеки монтажу, експлуатації і ремонту

Монтаж при виготовлення ІВС повинен бути виконаним за сучасними технологіями поверхневого монтажу.

ІВС повинна поставлятись у зібраному стані і не повинна вимагати розбирання і ревізії при виконанні монтажних робіт, виключення заміна елементів живлення.

1.10 Вимоги до завадозахищеності

Вимоги до завадозахищеності не встановлюються.

1.11 Вимоги до методів і засобів повірки

ІВС відноситься до вимірювальних засобів, які не підлягають державному метрологічному нагляду. ІВС при виробництві підлягає метрологічній атестації.

1.12 Додаткові вимоги

Додаткові вимоги не встановлюються.

1.13 Стадії та етапи розробки

Таблиця 1.13.1 – Етапи розробки дипломного проекту

№ з/п	Назва етапу виконання курсового проекту	Строк виконання етапів проекту
1	Дослідження проблемного об'єкту	25.02.2020
2	Розробка та затвердження технічного завдання	05.03.2020
3	Розробка структури виробу	20.03.2020
4	Розробка функціональної схеми виробу	10.04.2020
5	Розробка схем принципів окремих модулів	20.04.2020

Продовження таблиці 3.13.1

6	Розрахунки показників якості виробу	10.05.2020
7	Висновки	20.05.2020
8	Оформлення дипломного проекту	25.05.2020

1.14 Порядок приймання дипломного проекту

Приймання дипломного проекту виконується комісією затвердженою кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки.

Склад документації, яка подається до приймання:

- пояснювальна записка з додатками;
- графічні документи (схема структурна, схема функціональна, схема принципова, алгоритм роботи ІВС);
- технічне завдання;

- анотації (українською та іноземною мовами);
- титульні листи проекту та пояснювальної записки.

Вимоги технічного завдання можуть бути змінені за бажанням сторін. Всі зміни повинні бути оформлені письмово і затверджені сторонами.

1.15 Призначення та область застосування приладу

У наш час, проблематика якості повітря має дуже велике значення. Згідно досліджень останніх років, екологічний стан погіршується з кожним роком, саме тому, постає питання, наприклад, моніторингу атмосферного повітря. Дана розробка включає в собі універсальну конструкцію з сенсорами, яка надає можливість вмонтовувати елементи в залежності від необхідних параметрів досліджень.

Дипломний проект включає в себе три параметра за якими буде виконуватись дослідження, а саме : температура, вологість та концентрація часток.

Оскільки, ІВС є універсальною, область використання обмежується лише необхідністю. Адже, систему можна використовувати як в промисловості, так і для контролю повітря в місті.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Інформаційно-вимірювальна система параметрів
атмосферного повітря»**

Київ – 2020 року

Зміст

ВСТУП	2
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТРОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДОМИХ АНАЛОГІВ	5
1.1 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИКИДІВ	5
1.2 МЕТОДИ ЗАСНОВАНІ НА ПОПЕРЕДНЬОМУ ОСАДЖЕННІ ПИЛУ	8
1.3 МЕТОДИ БЕЗ ПОПЕРЕДНЬОГО ОСАДЖЕННЯ ПИЛУ	10
1.4 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИКИДІВ	22
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	32
2.1 СТРУКТУРНА СХЕМА ІВС ТА ЇЇ ОПИС	32
3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ, АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ЧАСОВИХ ДІАГРАМ.....	34
3.1 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ФУНКЦІОНАЛЬНА	34
3.2 АЛГОРИТМ РОБОТИ ІВС	34
3.3 ЧАСОВА ДІАГРАМА	35
3.4 СКЛАДОВІ ІВС	36
3.5 ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	38
3.6 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	39
4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	41
4.1 РОЗРАХУНКИ ОКРЕМИХ БЛОКІВ ІВС	41
5. РОЗРОБКА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	45
5.1 МЕТОДИКА ПОВІРКИ ENERGOМ-3001-PM2.5/10 ДАТЧИКА	45
5.2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ПОВІРКИ	48
5.3 ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЛАДІВ	50
5.4 ПЕРЕВІРКА АБСОЛЮТНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ВИМІРЮВАНІ ВОЛОГОСТІ.....	50

					<i>BM61-1.411415.001 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Острожний М.М.				Інформаційно-вимірювальна система параметрів атмосферного повітря		
Перевір.	Павлишин М.М.						
Н. контр.	Щербань А.П.						
Затв.	Сременко В.С.						
						Літ.	Аркуш
						О	1
						КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. BM61-1	

5.5	Вимоги щодо безпеки	51
5.6	Умови проведення повірки	51
5.7	Підготовка до проведення повірки.....	52
5.8	Обробка результатів вимірювання.....	53
5.9	Оформлення результатів повірки	54
ДОДАТОК А		55
ДОДАТОК В.....		57

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

BM61-1.421215.001 ПЗ

Арж.

2

Вступ

Розробка інформаційно-вимірювальної системи (далі за текстом ІВС) виконується у відповідності до технічного завдання виданого та затвердженого кафедрою інформаційно-вимірювальної техніки від _____.

Актуальність даної розробки підтверджуються тим, що питання екологічного стану повітря є одним з найважливіших для всіх країн світу, а також не втрачає своєї актуальності питання моніторингу повітря на виробництві.

За даними Організації Об'єднаних Націй, станом на 2050 рік майже 70 відсотків населення планети проживатиме у містах. Стрімкі темпи глобалізації несуть суспільству нові позитивні зміни, задовольняючи потреби у доступі до товарів та послуг, соціальних благ і комунікації, однак водночас, такі аспекти міського життя як підвищені рівні забруднення довкілля, обмежений доступ до зелених зон, малорухливий спосіб життя стають причиною зростання рівнів неінфекційної захворюваності та смертності серед міських мешканців. Доведено, що на сьогодні забруднення атмосферного повітря є одним з визначальних факторів здоров'я у міському середовищі.

Нещодавні оцінки Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) свідчать, що у 2019 році майже 4,3 млн. інцидентів дочасних смертей були спричинені забрудненням повітря, а дев'ять з десяти міських мешканців проживали у містах, де рівні забруднення атмосферного повітря не відповідають рекомендованим міжнародним критеріям. В Україні, за даними ВООЗ, у 2019 році, 67517 випадків додаткових смертей від захворювань органів дихання та серцево-судинної системи були зумовлені хімічним забрудненням

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

атмосферного повітря. Водночас, постійні тенденції розвитку та зростання міст ведуть до хаотичної розбудови транспортної системи, без урахування принципів сталого розвитку, зеленого транспорту та потенційних впливів на здоров'я населення, збільшуючи частку шкідливих викидів, обумовлених пересувними джерелами викидів, а саме автомобільним транспортом, та роль останнього як джерела забруднення атмосферного повітря і причини формування підвищених рівнів ризику для здоров'я населення, зокрема, у міських населених пунктах.

Тому актуальність розробки Інформаційно-вимірювальної системи параметрів атмосферного повітря на сьогодні дуже велика.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1. Аналітичний огляд метрологічних та технічних характеристик відомих аналогів

1.1 Методи контролю технологічних викидів

При аналізі методів вимірювання концентрації зважених частинок виявлено, що вони поділяються на дві групи. Першою групою є методи, котрі базуються на попередньому осадженні часток і дослідженні осаду, другою групою є методи без попереднього осадження частинок (див. рисунок 1.1). Найважливішим плюсом методів попередньому осадженні часток є змога вимірювання масової концентрації пилу. Серед недоліків варто зазначити циклічний характер вимірювань, трудомісткість, низьку чутливість, яка обумовлює тривалість вибору проб при вимірюванні невеликих концентрацій.[3]

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

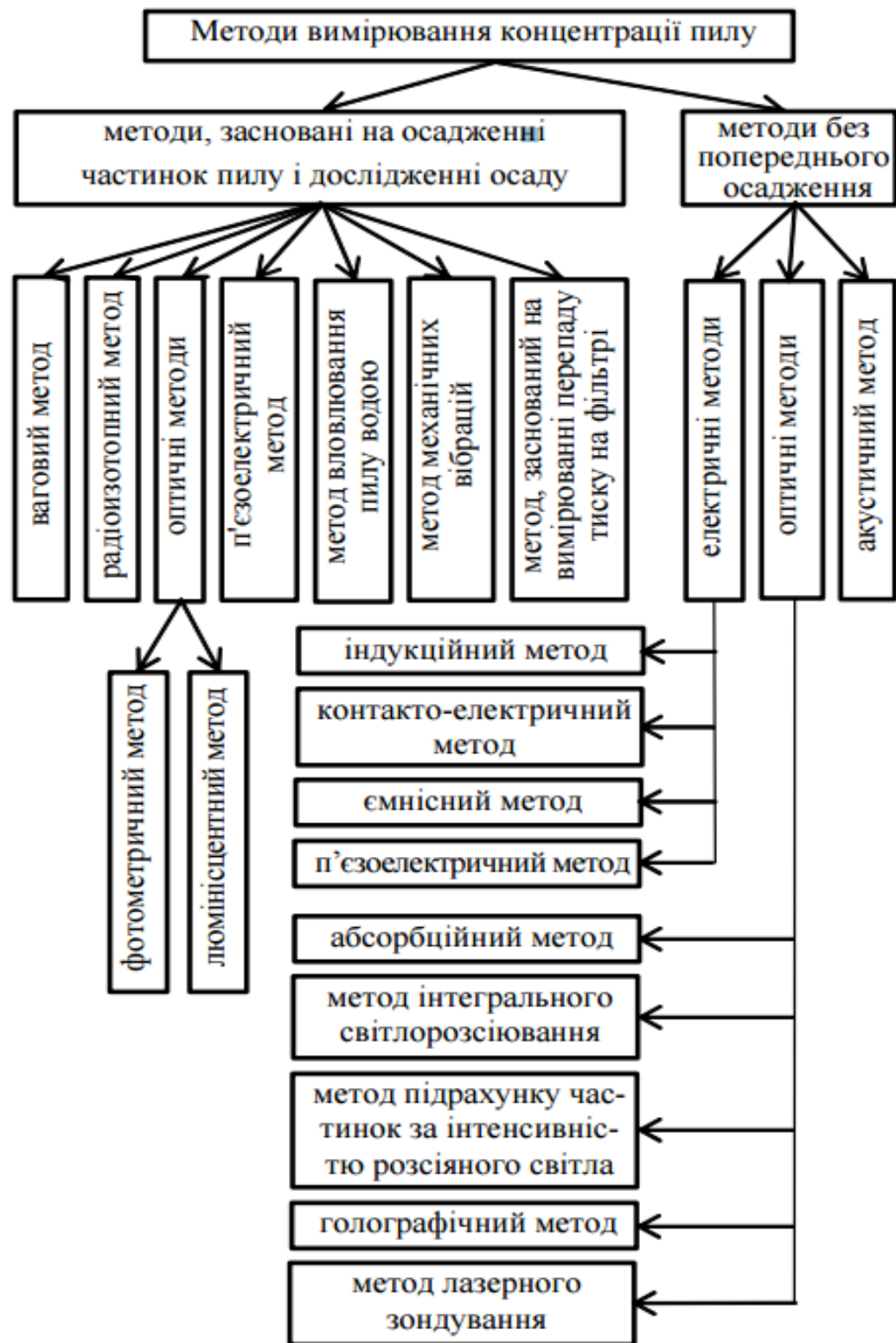


Рисунок 1.1 – Класифікація методів вимірювання концентрації пилу

Плюсом другої групи є змога вимірювань безпосередньо у пило газовому потоці без використання пробовідбірною пристрою, безупинність вимірювань, підвищена чутливість, практична без інерційність, можливість повної автоматизації процесу вимірювань. Під час вимірювань потоку аеродинамічні перекручування є відсутніми. Важливим мінусом методів другої групи являється вплив змін дисперсного складу й інших властивостей пилу на результат вимірювань. Вибір кращого методу вимірювань, для конкретного випадку контролю, може статися при умові врахування властивості пилу у викидах, основних закономірностей їхньої зміни, та інших супроводжуючих факторів, які негативно відображаються на процесі вимірювань, враховуючи всі позитивні та негативні властивості методу. Промисловий пиловий контроль має такі характеристики:

- діапазон вимірюваних концентрацій (від кількох міліграм до кількох грам на кубічний метр);
- широкий спектр розмірів часток пилу (від 0,05 мкм до 100 мкм); високі швидкості (до 140 м/с) і температури (до 1200° С) контрольованих пилогазових потоків.

Концентрація пилу постійно змінюється у часі та просторі в широких межах, і є залежною від стійкості роботи пилоочисного обладнання.

Загалом є три групи високоякісних експрес – методів, які визначають наявність часток, що знаходяться в повітрі виробничих приміщень:

- Перша група: методи візуальної колориметрії, які базуються на відношенні кольору поглинутого розчину, котрий отримали після прокачування повітря що досліджувалося, зі стандартною шкалою шаблона;
- Друга група: методи, котрі використовують спеціальний реактивний папір та дають змогу проведення якісного та кількісного аналізу на вміст шкідливих речовин, на основі визначення інтенсивності його

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

забарвлення;

- Третя група: лінійно – колориметричні методи, при використанні яких застосовуються індикаторні трубки.[3]

1.2 Методи засновані на попередньому осадженні пилу

Методи контролю концентрації пилу, на основі його попереднього осадження, дають змогу визначити масову концентрацію зважених часток. [3,4]

Ваговий або гравіметричний метод полягає у тому, що з пилогазового потоку видаляють частинки пилу і визначають їх масу шляхом зважування. Видалити пилові частинки можна при умові що запилене повітря проходить через фільтр. Зазвичай використовують фільтри марки АФА, які виготовляють з перхлорвінілової тканини.

Коли відбувається відбір проб за допомогою приладів фільтруючого типу, вимірюється об'єм повітря, котрий пройшов через фільтри: $V=qt$. Маса проби визначається різницею маси фільтра до (P_1 , мг) і після (P_2 ,мг) відбору проби. Концентрація пилу в мг/м^3 обчислюється за формулою:

$$C = \frac{P_2 - P_1}{qt} \cdot 1000 , \quad (1.1)$$

де q – об'ємна швидкість повітря (л/хв);

t – час відбору проби пилу.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Для того щоб отримати точне визначення концентрації пилу ми повинні мати точну інформацію щодо зважування та об'єму повітря, котре проходить через фільтр. Вибір проб в основному ведуть на три фільтри, після цього визначають середнє арифметичне значення концентрації пилу.

Основними плюсами цього методу є простота технічних вимірювань і те, що вплив хімічного і дисперсного складу є відсутнім, а отже, він не впливає на результат вимірювання. До мінусів можна додати: високу похибку вимірювань (близько 10%); можливість завищених параметрів концентрації, які можуть відбутися через випадкові короточасні викиди пилу під час відбору проби; відсутня можливість неперервного автоматичного контролю.

Ваговий метод використовується у випадку, коли потрібно визначити концентрацію пилу в газах та атмосфері на промислових підприємствах. Такий метод визнаний стандартом в країнах Європи та Росії.

Радіоізотопний метод вимірювання концентрації пилу

Основою такого методу є те, що частинки пилу здатні поглинути радіоактивне випромінювання (як правило, β – випромінювання). Радіоізотопні пиломіри Конструктивно складаються з пристрою для відбору проб, радіоактивного джерела випромінювання і приймача випромінювання (лічильник Гейгера). Сутність роботи приладу полягає в тому, що він перекачує певний об'єм повітря через фільтруючу стрічку з наступним визначенням товщини пилового осаду за ступенем ослаблення в β – випромінювання при його проходженні котре відбувається через шар накопиченого пилу. Концентрація пилу розраховується шляхом порівняння результатів вимірювання на фільтрі до і після нанесення проби.

Мінусами методу можна вважати те, що результати вимірювання залежать від дисперсного і хімічного складу пилу, котрі обумовлені особливостями взаємодії β – випромінювання з речовиною, а також

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

нелінійності залежності поглинання β – випромінювання від товщини поглинаючого шару. Перевагою даного методу є можливість створення на його основі приладів, котрі забезпечать безперервний автоматичний контроль концентрації пилу.

Різні види радіоізотопних пиломірів випускає фірма Environment (Франція), до переліку їх продукції слід також віднести автоматичні прилади, котрі призначаються для роботи у складі станцій моніторингу забруднення навколишнього середовища. Аналізатор моделі MPSI – 100 має мікропроцесор, котрий дає змогу управління режиму роботи: відбір пробовідбірної головки, нанесення проб на стрічку зі скловолокна і транспортування їх в детекторний блок з подальшим детектуванням.

Радіоізотопне джерело, котре використовується в приладі, має термін служби близько 4 – 5 років. Час автономної роботи відповідно складає 0,5 – 24 год, в межах від 0.0008 – 3.3 мг /м³ з точністю 10%.

Фотометричний (оптичний) метод аналізу

Суть оптичного методу аналізу полягає в неперервному визначенні оптичної щільності пилового осаду, котрий осаджується на рухомому фільтрі. Оптичну щільність можна визначити шляхом вимірювання ослаблення світлового потоку при проходженні променя світла через шар пилу. Оптична щільність пилового осаду залежить від концентрації та товщини шару пилу. Вимірявши оптичну щільність D , можна визначити масову концентрацію частинок пилу:

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$C_m = 0,8 \frac{d\rho}{L} D, \quad (1.2)$$

де d – діаметр частинок;

ρ – щільність часток;

L – оптична довжина шляху.

Зазвичай даний метод аналізу використовується для того, щоб дати якісну оцінку вмісту пилу на виході з очисних споруд (в одиницях ослаблення випромінювання або непрозорості). Для кількісного визначення вмісту пилу цей метод є неефективним, тому що в випадку істотного впливу на вимірювання надає кольоровість і дисперсність пилу. За рахунок цього похибка показань може сягнути сотень відсотків.[3]

1.3 Методи без попереднього осадження пилу

Оптичний метод вважається найкращим для неперервного автоматичного контролю концентрації пилу. Це відноситься як до концентрації пилу в атмосфері так і у відведених газах промислових підприємств без попереднього відбору. Сутність методу полягає в послабленні світлового потоку за рахунок його поглинання і розсіяння при проходженні через досліджуване пило газове середовище.[3,4]

Здійснити контроль концентрації на основі поглинання електромагнітних хвиль можливо за допомогою вимірювання величини екстензії:

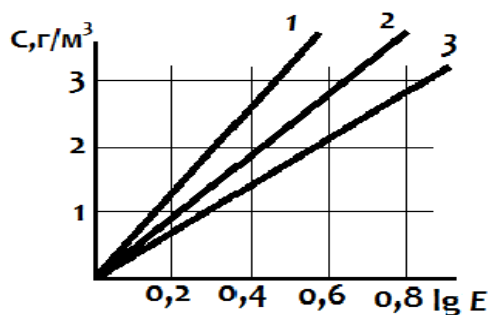
					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$E = \lg(I_{\lambda 0}/I_{\lambda}) , \quad (1.3)$$

де $I_{\lambda 0}$ – інтенсивність зонduючого випромінювання;

I_{λ} – інтенсивність з минулого випромінювання на певній довжині хвилі.

Визначити пило вміст в газовому середовищі можна керуючись основою взаємозалежності величини екстинкції і концентрації пилових частинок. Схема $C = f(E)$ для середнього розміру частинок 35 мкм при довжині шляху вимірювального 5 м наведена на рис.1.2.



1 – $\lambda = 436$ мкм;

2 – $\lambda = 546$ мкм;

3 – $\lambda = 636$ мкм.

Рисунок 1.2 – Графік залежності концентрації пилових частинок від величини частинок

Інтенсивність розсіяного випромінювання в широкому діапазоні залежить від співвідношення між розмірами частинок і зонduючого діапазону випромінювання. Також залежить від дисперсного складу пилогазового середовища (функція розподілу частинок за їх розмірами), вологість і форма частинок. Форма частинок може бути представлена різною, починаючи ниткоподібними частинками і закінчуючи симетричними кристалами.

Хоч теорія світлового розсіювання створена для сферичних частинок, частинки якої завгодно іншої форми, котрі за розмірами значно менше

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

довжини хвилі зондуючого випромінювання, можна сприймати як сферичні. Інтенсивність розсіяної радіації описується виразом

$$I_p = \frac{8\pi^4 r^6}{R^2 \lambda^4} k(1 + \cos^2 \theta) I_{\lambda 0}, \quad (1.4)$$

де R – відстань від частинки до приймача випромінювання;

θ – кут, відраховується від напрямку поширення випромінювання;

k – коефіцієнт в залежності від розмірів часток;

r – радіус частинок;

$I_{\lambda 0}$ – інтенсивність зондуючого випромінювання.

Даний метод може визначити як масовий вміст твердих частинок, та і концентрацію частинок пилу і дисперсного складу пило газового середовища, тому що зміна інтенсивності розсіяного світла є функцією розмірів часток.

Турбідиметричний і нефелометричний методи базуються на ослабленні світла за рахунок його поглинання і розсіювання при проходженні через полідисперсні середовища. Відповідно класифікуються як Турбідиметричний і нефелометричний. До них відносять пило газове середовище, суспензії найдрібніших частинок в розчиннику (колоїдні розчинники, суспензії). Ослаблення світлового потоку обумовлене поглинанням і розсіювання світла зваженими частинками.

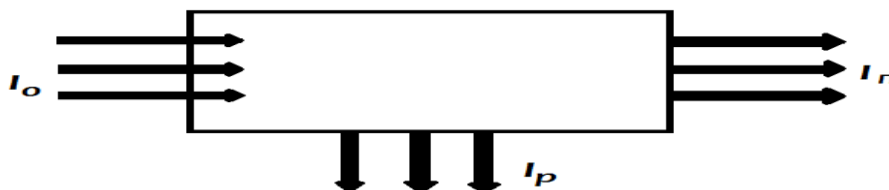


Рисунок 1.3 – Схема вимірювання світлових потоків при турбідиметрії і нефелометрії

I_0 – інтенсивність початкового світлового потоку, I_{π} – інтенсивність світла, що виходить з вимірювальної кювети, I_p – інтенсивність розсіяною світла.

Застосовуючи турбідиметричний аналіз можна виміряти інтенсивність світла I_{π} , котре виходить з кювети в напрямку падаючого пучка, а в нефелометричному аналізі I_p в напрямку, котрий перпендикулярний напрямленню початкового пучка світла.

Головним плюсом цих методів є можливість визначення найменших концентрацій (до $4 \cdot 10^{-9}$ г) речовини у зразку.

У полідисперсних середовищах для закону поглинання (закон Бугера – Ламберта – Бера), на додаток до істинного коефіцієнта поглинання k_{λ} , додається коефіцієнт k'_{λ} , що відповідає за розсіювання:

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} \exp[-(k_{\lambda} + k'_{\lambda})LC], \quad (1.5)$$

де C – концентрація поглинаючого компонента;

L – товщина шару досліджуваної речовини.

На основі вимірювання величини каламутності здійснюється контроль на основі явища пропускання електромагнітних хвиль:

$$E_{\lambda} = \lg(I_{0\lambda}/I_{\pi\lambda}), \quad (1.6)$$

де $I_{0\lambda}$ – інтенсивність зонduючого випромінювання;

$I_{\pi\lambda}$ – інтенсивність випромінювання що пройшло на певній довжині хвилі. [3]

Значення E_λ визначається за формулою:

$$E_\lambda = k \frac{CLd^3}{d^4 + \gamma\lambda^4}, \quad (1.7)$$

де C – концентрація поглинаючих частинок;

L – товщина поглинаючого шару;

d – середній діаметр поглинаючих частинок;

λ – довжина хвилі падаючого світла;

γ – коефіцієнт, що характеризує природу досліджуваного середовища;

k – коефіцієнт, що характеризує конструкцію приладу.

У тих випадках, коли $\lambda = \text{const}$, $k = \text{const}$, $\gamma = \text{const}$, вираз для значення запиленості набуває наступного вигляду:

$$E = KLC \quad (1.8)$$

де K – коефіцієнт запиленості середовища (коефіцієнт пропускання)

Система, котра працює по принципу вимірювання коефіцієнта пропускання, – турбідиметрії – представлена на рисунку 1.4

Пучок світла певної інтенсивності проходить від джерела 1 через об'єктив 2 і пило газовий потік 3 та відбивається від дзеркала 4 в протилежному напрямку.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

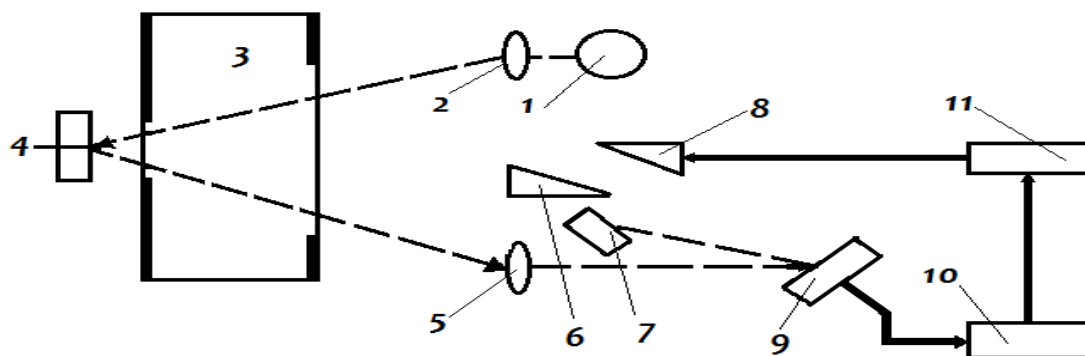


Рисунок 1.4 – Схема турбідиметра

1. джерело випромінювання;
2. лінза;
3. пило газований потік;
4. дзеркало;
5. лінза;
6. клин для установки нуля;
7. дзеркало;
8. компенсація клина;
9. фотодетектор;
10. телеметрична система;
11. реверсивний двигун.

Можемо спостерігати що світловий потік проходить двічі через середовище і за рахунок цього збільшує оптичний шлях променя і чутливість приладу. Інтенсивність світла слабшає коли проходить через пилове середовище. Лінза 5 фокусує світовий потік котрий проходить на фотоприймач 9. У каналі порівнювання порівнюється промінь який повернувся і вихідний промінь, після визначається значення коефіцієнта пропускання. Канал порівняння має працювати за таким принципом: світло від загального джерела через компенсаційний клин 8 клин установки нуля 6.

Після чого світло спрямовується дзеркалом 7 на фотодетектор 9. Вимірювальний і порівняльний світлові потоки по чергово модулюються частотою 50 Гц. На виході фотоприймача 9 з'являється сигнал дисбалансу світлових потоків, котрий надходить до реверсивному двигуна 11, пов'язаного з компенсаційним клином 8 через телеметричну системи 10. Клин переміщається до повного вирівнювання світлових потоків в обох каналах.[3,4]

В широкому діапазоні в залежності від величини відношення між розмірами частинок і довжини хвилі зонduючого випромінювання, інтенсивність розсіяної радіації може змінюватися. Також вона залежить від дисперсного складу середовища (функція розподілу частинок за розмірами) і форми частинок.

Розсіяння світла в оптично неоднорідних середовищах з розмірами неоднорідності, котрі являються малими у порівнянні з довжиною світлової хвилі і заломлення значень, що відрізняються від вартості заломлення навколишнього середовища, описується рівнянням Релея:

$$I_{p\lambda} = I_{0\lambda} \left[\frac{n_1^2 - n^2}{n^2} \cdot \frac{NV^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \beta) \right], \quad (1.9)$$

де $I_{p\lambda}$ – інтенсивність розсіяного випромінювання;

$I_{0\lambda}$ – інтенсивність зонduючого випромінювання;

n_1 і n – параметри заломлення частинок і середовища відповідно;

N – число розсіяних частинок;

V – об'єм розсіюючі частинки;

λ – довжина хвилі падаючого світла;

R – відстань до приймача випромінювання;

β кут між падаючим і розсіяної світловий пучок.

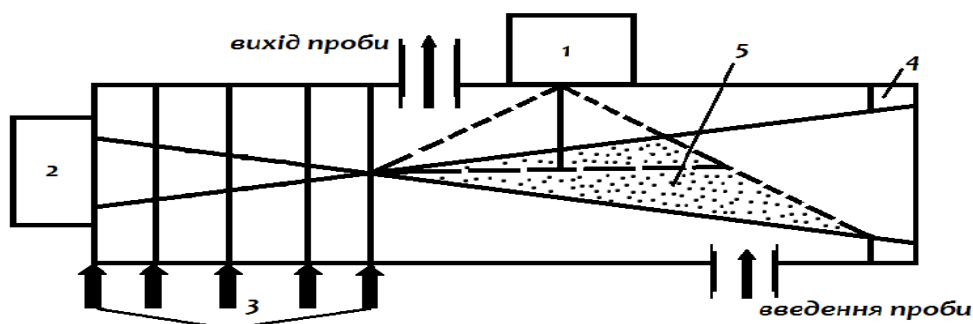


Рисунок 1.5 – Схема інтегруючого нефелометра

1. джерело випромінювання (оптичний квантовий генератор);
2. приймач випромінювання (ФЕУ);
3. колімуючі диски;
4. світлонепроникний кожух;
5. об'єм розсіювання.

При проведенні вимірювань величини n_1 і n, R, β є постійними і рівняння Релея набуває наступний вигляд:

$$I_{p\lambda} = I_0 \lambda k \frac{NV^2}{\lambda^4}, \quad (1.10)$$

де k – коефіцієнт, характерний для досліджуваної речовини і залежить від конструкції приладу.

Функцією розміру часток є зміна інтенсивності розсіяного світла, і також зміна інтенсивності розсіяного світла залежить від концентрації частинок. Це дозволяє вирахувати концентрацію підрахунку частинок і

дисперсного складу зразка.[3]

Електродинамічний метод

Застосовуючи даний метод можна контролювати масову концентрацію пилу шляхом визначення на вимірювальному електроді наведеної індукції, котра служить мірою загального заряду частинок, що проходять поблизу зонда. Використовується при вимірюванні концентрації пилу в металургії, агломерації, виробництві скла в діапазонах 200 – 1000 мг/м³.

Електричні методи вимірювання пилу

Для визначення концентрації пилу найбільш часто застосовують індукційний метод, котрий відноситься до електричних методів [4]. Сутність його полягає у визначенні індукційного заряду на електроді вимірювальної камери, котрий виникає при русі через камеру заряджених пилових частинок. Мірою масової концентрації є величина заряду.

Схема пиломіра на основі методу індукції вимірювання концентрації пилу представлена на рисунку 1.6 Досліджувана пило газова проба прокачується з постійною швидкістю через вимірювальну лінію приладу повітродувкою 7. Спочатку проба надходить в зарядну камеру 1, де відбувається уніполярний імпульсний коронний розряд негативної полярності.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

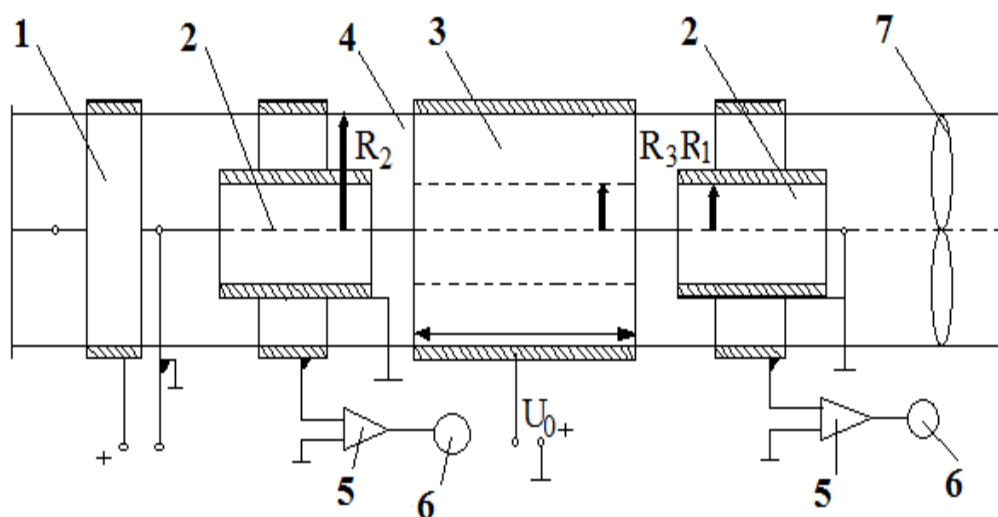


Рисунок 1.6 – Схема індукційного пиломіра

1. зарядна камера;
2. перша вимірювальна камера;
3. друга вимірювальна камера;
4. відхиляючий пристрій;
5. корпус;
6. підсилювач;
7. прилад для вимірювання;
8. повітродувка.

Високовольтна імпульсна напруга котра є необхідною для створення коронного розряду між електродами зарядної камери, виробляється модулятором. Пилові частинки, котрі знаходяться в тому обсязі повітря, який проходить через зарядну камеру за час імпульсу коронного розряду, отримують негативний електричний заряд. Заряд, отриманий кожною частинкою, пропорційний її поверхні. Далі потік часток потрапляє в першу вимірювальну камеру 2, яка складається з двох коаксіальних розташованих порожнистих тонкостінних циліндрів з радіусами R_1 і R_2 .

Зовнішній циліндр з'єднаний з входом підсилювача 5. Проходячи через вимірювальну камеру, заряджені частинки пилу індукують на її електродах струм, котрий створює на входному опорі підсилювача напруга, пропорційне об'ємному заряду шару частинок пилу, що знаходяться між двома циліндрами вимірювальної камери. Це змінна напруга після посилення в підсилювачі 5 вимірюється приладом 6. Після цього потік заряджених частинок потрапляє в відхиляючий пристрій 3, який являє собою циліндричний конденсатор довжиною 1. Заземлений внутрішній електрод конденсатора має радіус R_3 . Зовнішній циліндричний електрод з радіусом R_2 знаходиться під постійним потенціалом U_0 . Проходячи через відхиляючий пристрій, заряджені частинки зміщуються у бік центрального електрода на величину, пропорційну їх радіусу. Тому далі, в міжелектродний простір другої вимірювальної камери 2' ідентичній камері 2, потрапляє менша кількість заряджених частинок. Сигнал, прямо пропорційний об'ємній концентрації частик, отримують різницю величини наведеного заряду Q_2 в другій вимірювальній камері з величини наведеного заряду Q_1 в першій вимірювальній камері:

$$Q_v = Q_1 - Q_2 = \frac{kB^2IU_0hn_v}{3\pi\eta V^2v\ln(R_2/R_3)} = kS_vn_v, \quad (1.11)$$

де k – коефіцієнт передачі вимірювальної камери;

B – постійна зарядної камери;

n_v – об'ємна концентрація дисперсної фази;

V – обсяг пачки заряджених частин;

h – довжина пачки заряджених частинок;

v – швидкість руху проби через вимірювальну лінію;

η – динамічна в'язкість повітря;

величина S_v є постійною величиною і визначається параметрами приладу.

Для того щоб контролювати вміст пилу у атмосферному повітрі застосовують індукційні пиломіри.

На індукційному методі також засновані прилади, котрі вимірюють дисперсний склад пилогазового середовища.

Найважливішим мінусом індукційних пиломірів є їх залежність показників від вологості, природи пилу та зміни її дисперсного складу в часі. Саме тому одним з найперспективніших методів контролю концентрації пилу вважається акустичний (ультразвуковий) метод.

Ультразвуковий метод [4]

Принцип дії даного методу заснований на вимірюванні поглинання ультразвукових коливань запиленого середовища. Блок – схема пиломіру, заснованого на такому методі, наведена на рисунку 4.7.

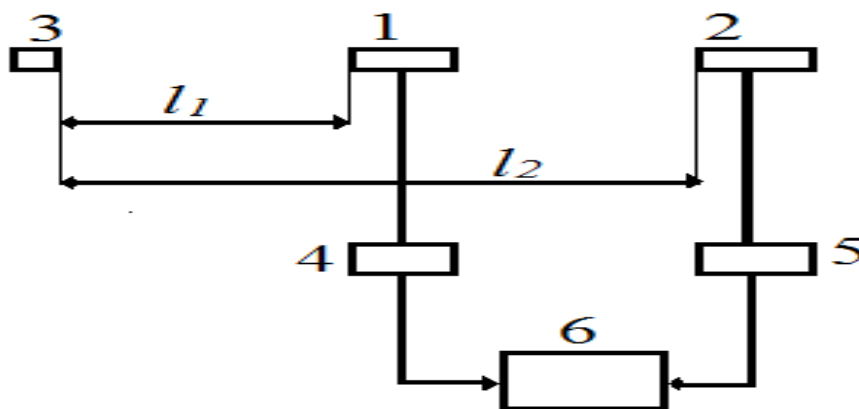


Рисунок 1.7 – Блок – схема ультразвукового пиломіра

1,2 – приймачі ультразвукових коливань;

3 – джерело ультразвукових коливань;

4, 5 – підсилювачі;

Сутність роботи ультразвукового пиломіра заснована тому, що відбувається вимірювання амплітуди сигналів A_1 , і A_2 , на різних відстанях від джерела випромінювання l_1 , l_2 , і визначається коефіцієнт загасання ультразвукових коливань α в пило газовому середовищі:

$$\alpha' = \frac{\ln A_1 - \ln A_2 - \alpha(l_2 - l_1)}{(l_2 - l_1)}, \quad (1.12)$$

де α і α' – коефіцієнти загасання в чистому повітрі і в запиленому середовищі.

У контрольованому середовищі встановлюють джерело ультразвукових коливань 3 і два приймача 1 і 2, віддалених від джерела на відстані l_1 , і l_2 , відповідно. На виході приймачів отримують величини напруг, пропорційні амплітудам ультразвукових коливань A_1 , і A_2 , Вихідний сигнал посилюється підсилювачами 4, 5 і потрапляє в реєструючий пристрій 6.

Також є ще два варіанти такого методу. Сутність першого полягає в тому, що відбувається вимірювання частоти коливань п'єзoeлементa при осадженні на його поверхню пилу. Такий метод дозволяє визначати масову концентрацію пилу.

Другий метод полягає в вимірюванні кількості імпульсів, котрі виникають при умові зіткнення частинок пилу з п'єзoeлементом. Даний метод використовують для вимірювання лічильної концентрації частинок пилу.

Турбоелектричний метод – метод, котрий заснований на вимірюванні електричного заряду, який виникає при умові взаємодії рухаючи в газовому

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

потоці пилових часток з датчиком – стержнем. Пилові частинки з концентрацією 0 – 150 мг/м³ при переміщенні відносно датчика – стержня створюють у ньому індукційний заряд, який перетворюється підсилювачем заряду в напругу, котра пропорційна вмісту пилу в газовому потоці. Напруга надходить на мікропроцесор для того щоб аналізувати відповідно до програми, після чого проводиться індикація показань вмісту пилу на цифровому індикаторі, включення і виключення світлової сигналізації при спрацьовуванні порогових пристроїв, видача інформації на струмовий вихід і канал зв'язку RS485 (протокол MODBUS RTU). Такий метод може бути використаним для виміру пилу у викидах цементного виробництва, перевалці сипучих матеріалі і також потребує гравіметричного калібрування.

4.2 Засоби вимірювання технологічних викидів

До метрологічних характеристик пиломірів відносять: основну похибку, вихідний сигнал, мінімальну визначувану концентрацію, діапазон вимірюваних значень, рівень вихідного шуму, відтворення і зсув нуля, час неперервної роботи приладу та час його прогріву.

1.4 Аналіз засобів вимірювання технологічних викидів

На сьогоднішній день ми маємо певну кількість основних методів вимірювання пилу, і відповідно автоматичних пиломірів, котрі їх реалізують. Зазвичай в основу конструкції пиломірів входять дві групи методів вимірювання. Перші засновані на тому, що відбувається попереднє осадження пилу (вага, фотометричних, радіоізотопні методи), другі - навпаки, засновані на тому, що не потребують попереднього осадження пилу

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

(оптичних, електричних, ультразвукових). Основними конструктивними вузлами всіх пиломірів є: первинний вимірювальний перетворювач(ПВП), вторинні вимірювальні (ВВП) і регулюючі пристрої.

Пиломіри побудовані на принципі поглинання – розсіювання без інерційні та дають змогу визначення миттєвих значень концентрації пилю.

Для того щоб виміряти вміст пилю в газах промислових підприємств, пиломіри встановлюють саме на газоходах, в результаті чого вимірювальна база приладу (відстань між джерелом світла і фотоприймачем) мають відповідати діаметру газоходу. Оптичні пиломіри мають містити надійні засоби котрі захищають від пилю оптичних деталей, що знаходяться з пило газовим потоком в контакті, через забруднення таких деталей може відбуватися зменшення чутливості приладу. Саме тому застосовується обдув поверхні захисних вікон чистим повітрям. Є також пиломіри з систем подвійних променів та однопроменевих оптичних систем.

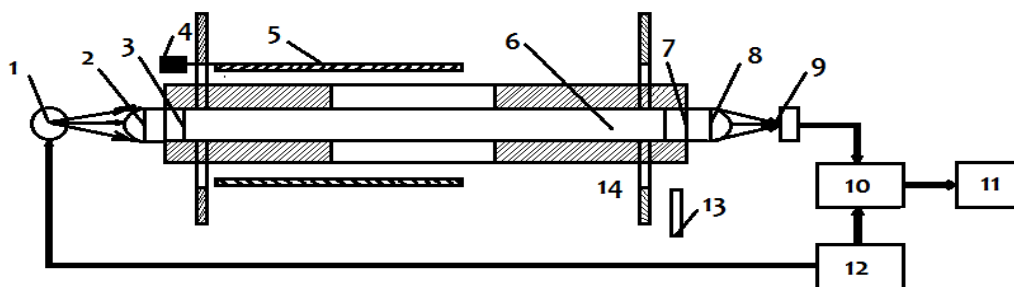


Рисунок 1.8 – Оптична схема однопроменевого пиломіра

1 – джерело випромінювання;

2, 8 – лінзи;

3, 7 – захисні вікна;

- 4 – рухливий механізм;
- 5 – розсувні вікна;
- 6 – вимірювальна камера;
- 9 – випромінювання фотодетектор;
- 10 – підсилювач;
- 11 – пристрій запису;
- 12 – джерело живлення;
- 13 – екран;
- 14 – газохід.

Джерело світла 1 і лінзи для формування світлового потоку 2 розташовані на одній і тій самій стороні газоходу, а лінза 8 і приймач 9 – на іншій стороні. В основному зона вимірювання концентрації пилу нічим не обмежена, щоб виключити спотворення пилогазового потоку. Однак особливо в однопроменевих оптичних пиломірах вимірювальна камера 6 іноді використовується для того щоб зберегти відповідність між джерелом світла і приймачем. З конструктивного погляду камера являє собою трубку з поздовжніми прорізами, котра встановлюється в газоході 14 поперечного перерізу. У торці камери розташовані захисні вікна 3,7. Світло, котре проходить через потік пило газового середовища послаблюється і фіксується фотоприймачем 9, котрий включений в систему збалансованого підсилювач 10. Вихідний сигнал від підсилювача надходить на записуючий пристрій 11 джерела світла і підсилювач живиться від стабілізованого джерела живлення 12. Можливість перевірки нульової точки пиломіра передбачено, протягом якого ковзання за допомогою механізму 4 вікна 5 перекривають прорізи в вимірювальній камері і припинити подачу проби. Екран 13 призначений для можливості перевірити кінцеву точку шкали приладу. Показники цього приладу залежить від

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

складу димових газів (особливо CO_2 і H_2O) і дисперсності середовища. Саме тому випуск приладу здійснюється в умовах, котрі відповідають умовам його експлуатації. Однопроменеві пиломіри являються простішими за ті, котрі подвійнопроменеві по своїй конструкції, але водночас вони демонструють велику похибку вимірювань.

Принцип роботи двопроменевого пиломіра з оптичною компенсацією, яка працює за принципом вимірювання коефіцієнта пропускання. Приклад такого приладу є система FM – 56 що виробляється компанією «Erwin Sick GmbH» (Німеччина). Така система дає змогу виміру концентрації пилу в межах 0 – 20 мг /м³, і 20 – 100 мг/м³ з похибкою 20%.

Нефелометр RM 210 виробництва компанії «Erwin Sick GmbH» (Німеччина) використовує інтенсивність розсіяного світла в якості вимірюваної величини. Промінь світла від джерела 1 (зазвичай ІЧ – діапазоні) розсіюється на твердих частках і залишкового інтенсивність променю визначається за допомогою високочутливого датчика 2 (Рис. 1.9).

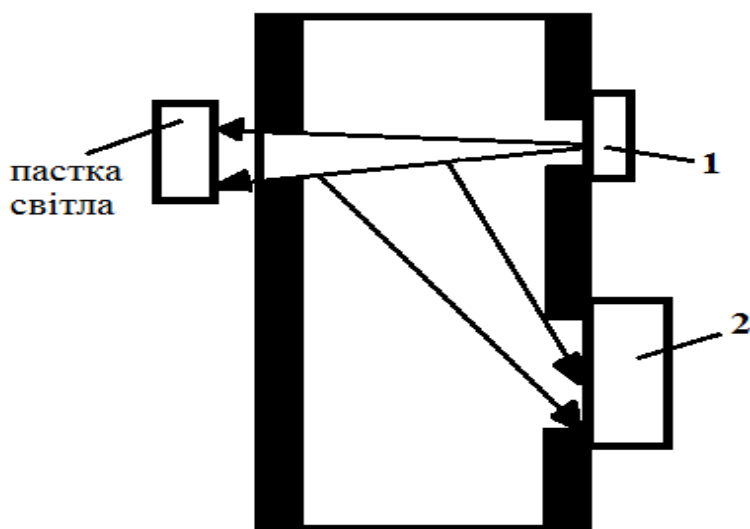


Рисунок 1.9 – Схема вимірювача запиленості – нефелометр RM210

2 – високочутливий датчик.

Принцип дії вимірювача ВОГ – 2 (рис. 1.10) полягає в тому, що відбувається вимірювання зміни значення оптичного сигналу, який пройшов від випромінювача до фотоприймача при умовах відсутності і наявності пилу. Блок оптичний містить у собі модулятор випромінювача, перетворювач $+5V \rightarrow \pm 5V$, формувач сигналів, фотоприймач, підсилювач, випромінювач, цифровий термометр, який вимірює температуру всередині блоку оптичного, вимірювач температури в газоході, датчик якої знаходиться в кінці зонда. У кінці зонда встановлено сферичне дзеркало. Зонд містить в собі заслони, котрі перекривають потік газу через прилад.[3]

На рис. 1.10 представлений оптичний пиломір типу ВОГ – 2 українського виробника як найбільш типовий, по аналогічному принципу будуються пиломіри російського виробника: ИКВЧ «Аналітприлад» (Смоленськ), Gravimat SHC 500, фірма ZIK (ФРН).[3,4]

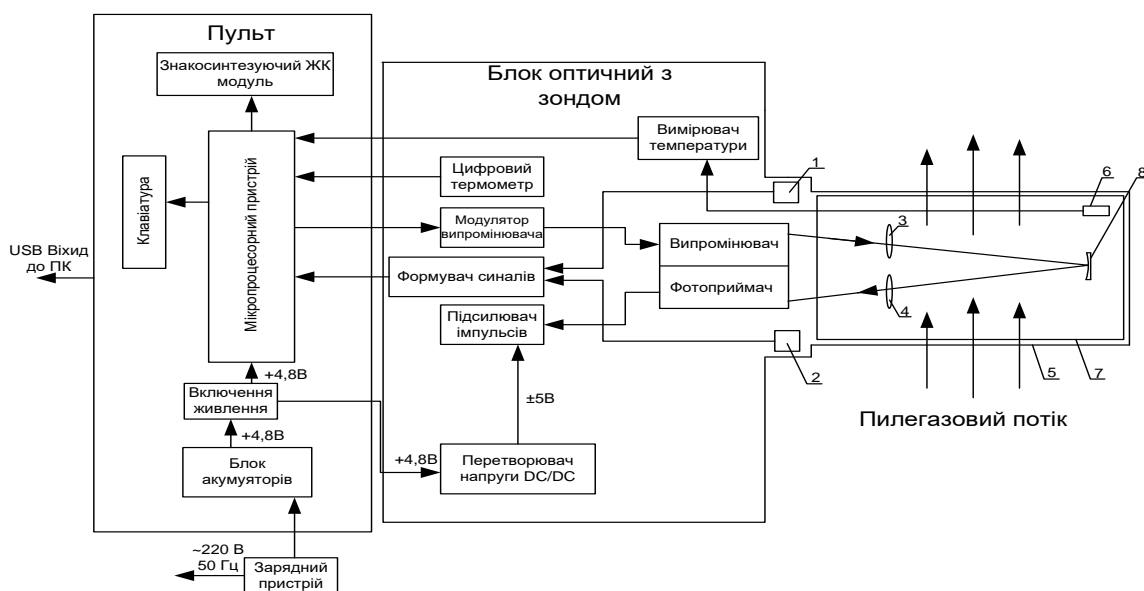


Рисунок 1.10 – Схема функціональна вимірювача ВОГ – 2

де 1, 2 – датчики положення труби – засув;

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3 – лінза – коліматор;

4 – лінза – об'єктив;

5 – зонд;

6 – датчик температури;

7 – засув обертова;

8 – відбивач.

Прилад працює за таким принципом:

Мікропроцесорний пристрій формує імпульси частотою 1 кГц, які через модулятор подаються на світлодіод, котрий випромінює у вузькій смузі потік на довжині хвилі близько 0,63 нм. Випромінювання від світлодіода збирають лінзою 3 і направляють на сферичне дзеркало 8, відбитий сигнал від якого збирається другою лінзою – коліматором 4 на фотоприймачі. Сигнал з фотоприймача через підсилювач подається на аналоговий вхід мікропроцесорний пристрій. [3]

Сигнали з виходів датчиків положення заслінки (відкрита або закрита) через формувач сигналів подаються на цифрові входи мікропроцесора.

При включенні пиломіру, поміщеного в газохід, причому так, щоб прорізи в зонді збігалися з напрямком досліджуваного потоку газу, а заслінка зонда – закрита, після його нетривалого прогріву, в пам'ять мікропроцесора записується значення I_0 . Це значення I_0 використовують при подальших вимірах як значення сигналу при відсутності пилу в вимірювальному каналі. Після відкриття заслінки і встановлення показів приладу з фотоприймача зчитується значення сигналу I_v . [3,4]

Далі розраховується значення оптичної щільності аналізованого газового потоку за формулою:

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$D_U = \lg \frac{I_0}{I_U}, \quad (1.13)$$

Концентрації пилу за формулою:

$$C = \alpha \cdot \beta(T) \cdot C_M \cdot \frac{D_U}{D_M}, \quad (1.14)$$

де α – емпіричний коефіцієнт, що залежить від властивостей пилу, що проходять через пиломір частинок пилу;

$\beta(T)$ – емпіричний коефіцієнт, що визначається умовами вимірювання;

C_M – індекс, що відповідає калібруванню пиломіра «масовим» методом;

D_M і C_M – відповідно значення оптичної щільності каліброваного потоку газу і концентрації пилу в цьому потоці;

D_U – оптична щільність досліджуваного пилового потоку газу.[3,4]

За рахунок введення коефіцієнтів α , β показання пиломіру лишаються стабільними протягом довгого часу.

Оптичні пиломіри дають змогу швидко провести вимірювання значних концентрацій пилу до 2000 мг/м³. Головним мінусом оптичних методів є методична похибка пов'язана з тим, що фактично відбувається вимір не масової концентрація пилу у мг/м³, а щільність пилогазового потоку, котра є функцією концентрації і її треба визначати для кожного виду пилу окремо і відповідно проводити калібрування по гравіметричному методу. Найчастіше оптичні пиломіри використовуються в металургії та теплоенергетиці.[3]

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Порівняльна характеристика вимірювальних приладів зведена у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Порівнювальна характеристика параметрів пристроїв

Назва приладу (Метод вимірювання)	Похибка приладу	Переваги	Недоліки
ВКП – 4 (Електро–індукційний)	$\pm 25\%$	Вимірювання малих концентрацій від $0,01 \text{ мг/м}^3$	Велика похибка; температура від $+10$ до $+40 \text{ }^\circ\text{C}$
ДАСТ – 1 (Радіоізотопний)	$\pm 20\%$	Вимірювання малих концентрацій від $0,01 \text{ мг/м}^3$	Велика похибка; температура від $+5$ до $+35 \text{ }^\circ\text{C}$
ЛПИ – 04 (Послаблення лазерного випромінення)	$\pm 2\%$	Мала похибка вимірювання	Малий діапазон температур навколишнього середовища від 0 до $+40^\circ\text{C}$
ПКА – 01 (Визначення аеродинамічного опору фільтру)	$\pm 20\%$	Компактність; широкий діапазон вимірювання	Висока похибка

Технічні характеристики пиломірів, принцип роботи яких заснований на методах з попереднім осадженням пилу, представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики пиломірів

Найменування типу приладу	Діапазон вимірювань мг /м ³	Похибка вимірювань
Пиломір радіоізотопний стаціонарний для контролю концентрації пилу в атмосфері «MP 101P» «Environment» Франція	0 – 0,1; 0 – 0,2 0,1 – 0,5; 0,1 – 5 0,1 – 2; 0,1 – 10	$\Delta=\pm 25$ мг /м ³ $\Delta=\pm 25$ мг /м ³ $\Delta=\pm 25$ мг /м ³
Пиломір радіоізотопний стаціонарний для контролю концентрації пилу в атмосфері «F 701» «VEREWA», Німеччина	0 – 0,1; 0,1 – 10	$\Delta=\pm 25$ мг /м ³ $\Delta=\pm 25$ мг /м ³
Пиломір гравіметричний стаціонарний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «GRAVIMAT 500,501,502» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik, Німеччина»)	0,1 – 200 50 – 50000	$\delta=\pm 10\%$ $\delta=\pm 8\%$

Характеристики пиломірів, принципи роботи яких засновані на методах без попереднього осадження пилу, наведено в табл.1.3

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики стаціонарних пиломірів

Назва і тип приладу	Діапазон вимірювань мг /м ³	Похибка вимірювань
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «RM 210» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», Німеччина).	0 – 0,5 0,5 – 500	$\gamma=\pm 20\%$ $\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «OMD 41 – 02» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», Німеччина).	80 – 5000	$\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «OMD 41 – 03» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», Німеччина).	50 – 5000	$\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «FW 56 – 1» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», Німеччина).	50 – 5000	$\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах (НИЦ "Автоматика», Москва).	Оптична щільність 0 – 0,3; 0 – 0,7; 0 – 1; 0,2	$\gamma=\pm 4\%$

Характеристики пиломірів, принципи роботи яких засновані на методах без попереднього осадження пилу, наведено в табл.1.4

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики оптичних пиломірів

Назва і тип приладу	Діапазон вимірювань мг /м ³	Похибка вимірювань
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «RM 210» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», ФРН).	0 – 0,5 0,5 – 500	$\gamma=\pm 20\%$ $\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «OMD 41 – 02» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», ФРН).	80 – 5000	$\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «OMD 41 – 03» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», ФРН).	50 – 5000	$\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах «FW 56 – 1» («Erwin Sick GmbH Optik Elektronik», ФРН).	50 – 5000	$\sigma=\pm 20\%$
Пиломір оптичний для контролю концентрації пилу в промислових викидах (НИЦ "Автоматика», Росія).	Оптична щільність 0 – 0,3; 0 – 0,7; 0 – 1; 0 – 2	$\gamma = \pm 4\%$

Пиломіри побудовані на основі оптичного, радіоізотопного методів аналізу призначені для контролю повітря робочої зони, а також контролю і якості роботи пилоочисного обладнання і мають діапазони вимірювань 0 – 2000 мг/м³ Оптичні пиломіри непридатні для використання їх в цілях контролю забруднення атмосферного повітря. Для аналізу забруднення атмосферного повітря використовується гравіметричний метод, який дозволяє на межі санітарно – захисної зони підприємств від фіксувати значення 0,1 мг/м³. [3]

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2. Розробка структури та режимів функціонування інформаційно-вимірювальної системи

2.1 Структурна схема ІВС та її опис

На підставі отриманого завдання та огляду існуючих технічних рішень розроблена наступна структурна схема інформаційно-вимірювальної системи, що подано на Рисунок 2.1 – Структурна схема ІВС.

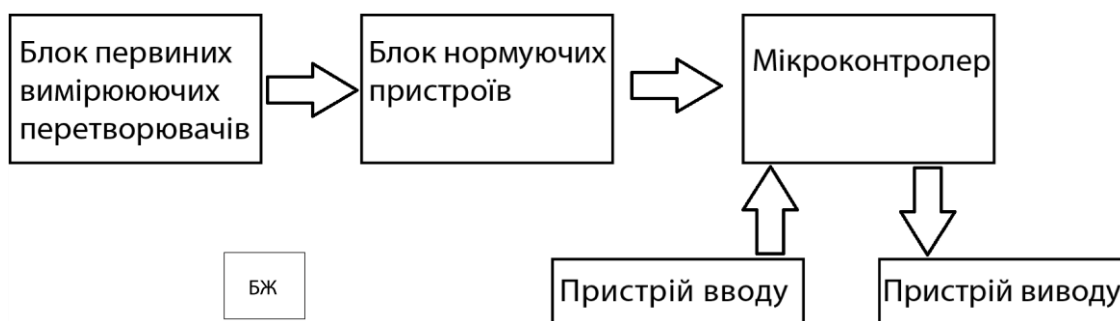


Рисунок 2.1 – Структурна схема ІВС

На схемі позначено:

- Первинні вимірювальні перетворювачі;
- Блок нормуючих пристроїв;
- Мікроконтролер;
- Блок вводу (наприклад, отримання температурних показів);
- Блок виводу даних;
- БЖ – Блок живлення.

2.1.1 Робота ІВС за структурною схемою

1. На початок роботи системи сенсори розташувати у середовищі у якому буде відбуватися виміри.
2. Блок первинних вимірювальних перетворювачів має в собі три сенсори
 - Датчик пилу;
 - Датчик температури;
 - Датчик вологості.
3. Отримані сигнали з вимірювальних перетворювачів кожен з яких прямує на відповідний посилювач сигналу.
4. Посилені сигнали прямують до АЦП.
5. Далі, дискретизований сигнал прямує до мікропроцесора для подальшої обробки.
6. Отримані результати зберігаються в пам'яті мікроконтролера.
7. Кожну 2-гу ітерацію повного циклу, дані з мікроконтролера передаються до сховища.
8. За необхідності, користувач з використанням клавіатури на монітору отримує інформацію, яка є необхідна.

2.1.2 Попередній аналіз похибок вимірювання кожного каналу

ІВС якості повітря, має похибки:

- Нормуючого підсилювача;
- Похибка дрейфа нуля;
- Похибка квантування(адитивна/мультиплікативна);
- Похибка АЦП;
- Похибка ключа;
- Похибку не лінійності.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

3. Розробка схеми електричної функціональної, алгоритмів функціонування та часових діаграм

Метою розробки СЕФ(схема електрична функціональна) є створення можливості уточнення алгоритмів функціонування ІВС, більш детального аналізу складових похибок вимірювальних каналів та обґрунтування вимог до елементної бази функціонування блоків ІВС.

Основою для розробки СЕФ є схема електрична структурна та вимоги ТЗ на ДП.

3.1 Схема електрична функціональна

На Рисунок 3.1 – Схема електрична функціональна представлена СЕФ

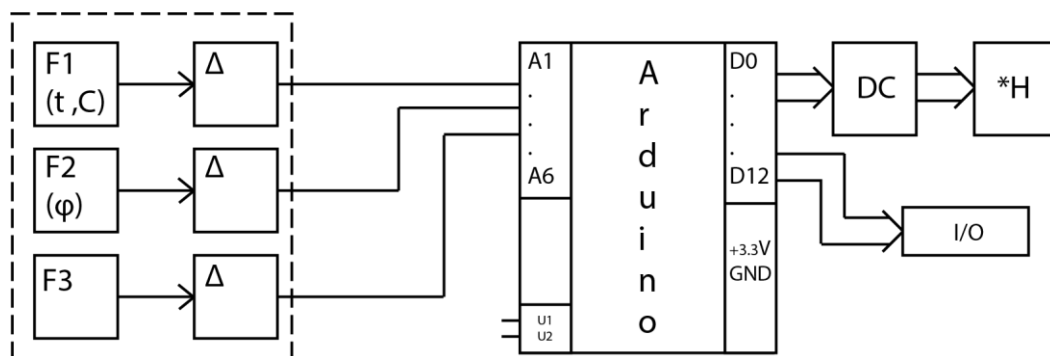


Рисунок 3.1 – Схема електрична функціональна

Де F1 –датчик температури;

F2 –датчик вологості;

F3 –датчик кількості часток;

I/O – пристрій вводу/виводу;

DC – дешифратор;

*Н- цифровий відліковий пристрій.

3.2 Алгоритм роботи ІВС



Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи ІВС

3.3 Часова діаграма

Часову діаграму роботи ІВС наведено на Рисунок 3.3.– Часова діаграма роботи ІВС

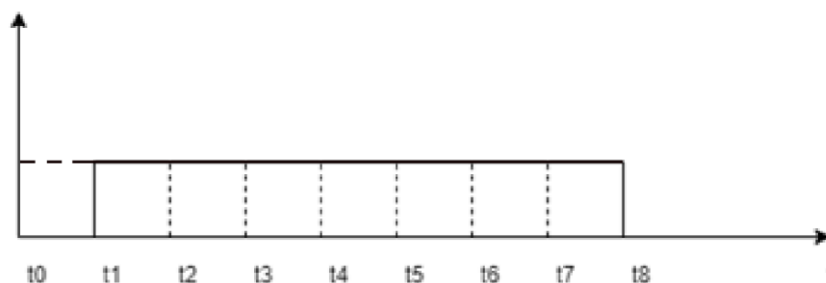


Рисунок 3.3.– Часова діаграма роботи ІВС

Де t_0 – ввімкнення живлення;

t_1 – ініціалізація мікроконтролера;

t_2 – ініціалізація АЦП;

t_3 – відкриття ключа;

t_4 –зчитування даних в мікроконтролера, обробка результатів вимірювання;

t_5 – перетворення оброблених даних;

t_6 – передача даних до бази даних(або відображення в реальному часі на екрані комп'ютера);

t_7 – індикація оброблених даних;

t_8 – кінець процедури вимірювання.

3.4 Складові ІВС

Для виконання дипломного проекту було обрано три первинні вимірювальні перетворювача та мікроконтролер Arduino.

3.4.1 EnergoM-3001-PM2.5/10 датчик пилу температури та вологості

EnergoM-3001-PM2.5/10 - датчик пилу температури та часток. Зовнішній вигляд датчика представлено на Рисунок 3.4.1.



Рисунок 3.4.1 – Зовнішній вигляд датчика

3.4.2 Загальний опис

Датчик оснащений високоякісним сенсором пилу, який є основним вимірювальним пристроєм. Вимірювальний сенсор володіє широким вимірювальним діапазоном, високою точністю, хорошою лінійністю, варіативністю і прийнятною ціною. Широко використовується для вимірювання якості повітря, системах вентиляції та на промисловості.[3,4]

Параметри контролю можуть бути задані користувачем та збережено в енергозалежній пам'яті датчика.

Обмін даними з мікроконтролером відбувається за однодротовою

					BM61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

лінією зв'язку, за допомогою інтерфейса RS485.

Діапазон вимірювання температури становить від -40 до +80 ° С. Для діапазону від -10 до +60 ° С похибка не перевищує 0,5 ° С.

Діапазон вимірювання вологості становить від 15% до 95%.

Точність від 0% RH до 100%RH

Діапазон вимірювання кількості часток становить 0-300/0-1999.9мг/м³

Точність 5%.

3.4.3 Особливості

- Можливість використання декількох датчиків спрощує зондування температури вологості та кількості часток;
- Підключення до 16 датчиків;
- Вимірює температуру в діапазоні від -40 ° С до + 80 ° С;
- ± 0,5 ° С точність від -10 ° С до + 60 ° С;
- Вимірює вологість в діапазоні від 15% до 95%;
- Точність від 0% RH до 100%RH;
- Вимірює кількість часток в діапазоні 0-300/0-1999.9мг/м³;
- Точність 5%;
- Висока чутливість датчика.

3.5 Основні технічні характеристики

3.5.1 Технічні та метрологічні характеристики каналів вимірювання

Технічні та метрологічні характеристики каналів вимірювання наведено у Таблиця 3.5.1 – Метрологічні характеристики

					BM61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Таблиця 3.5.1 – Метрологічні характеристики

Назва	Діапазон
Температурний діапазон	-40 — 80 °C
Діапазон вимірювання вологості	15% — 95%
Діапазон вимірювання кількості часток	0-300/0-1999.9мг/м ³
Температурна абсолютна похибка вимірювання	не > 0,1°
Похибка кількості часток	не >5%
Вологість - похибка	не > 3%
Межа допустимої основної зведеної похибки вимірювання	0,5%
Час вимірювання	0.5 s
Діапазон напруги	14...25V

Основні функції ІВС:

- зчитування показів сенсорів;
- обробка сигналу (підсилення);
- відображення результатів обробки.

3.6 Розробка схеми електричної принципової

Метою розробки функціональної схеми є створення можливості більш повного аналізу складових похибок вимірювальних каналів, уточнення алгоритмів функціонування та формування вимог до вибору елементної бази всіх функціональних блоків системи.

Функціональну схему представлено на **Ошибка! Источник ссылки не найден.**рисунку 3.6

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

4. Розрахункова частина

4.1 Розрахунки окремих блоків ІВС

4.1.1 Розрахунок похибок каналу вимірювання температури

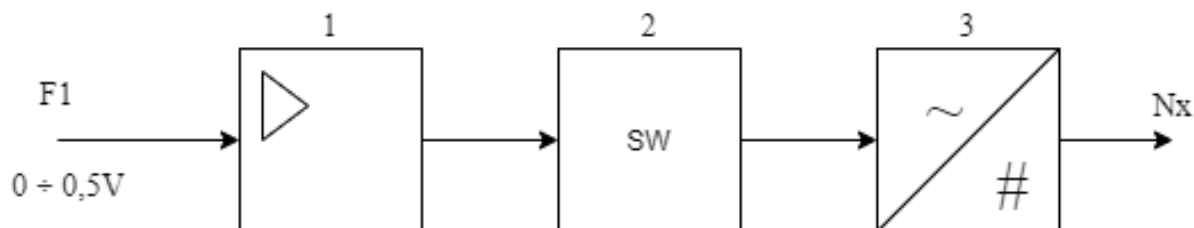


Рисунок 4.1.1 – Вимірювальний канал

1. Нормуючий підсилювач побудовано на базі ППС(підсилювач постійного струму) типу AD .

1.1.Має наступні похибки :

- Похибка дрейфа нуля (випадкова адитивна);
- Похибка нелінійності коефіцієнта підсилення(випадкова мультиплікативна).

Для підсилювача AD, $\Delta U_{др} = 1 \cdot 10^{-3} V$.

1.2.Розрахунок похибки дрейфа нуля:

$$\gamma_{др} = \frac{\pm U_{др}}{U_{вих}} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

$$\gamma_{др} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{5} \cdot 100 = 0,02\% \quad (4.2)$$

Для надійної роботи АЦП на його вхід подамо сигнал в діапазоні 0÷5V.

Похибкою нелінійності можна знехтувати, оскільки коефіцієнт підсилення дорівнює 10(при сигналі з сенсора від 0 до 5V), а

максимальний коефіцієнт підсилення (НП) ≈ 400 .

2. Розрахунок похибки комутатора

Схема електрична еквівалентна комутатора представлена на рРисунок

4.1.2 – Схема електрична еквівалентна

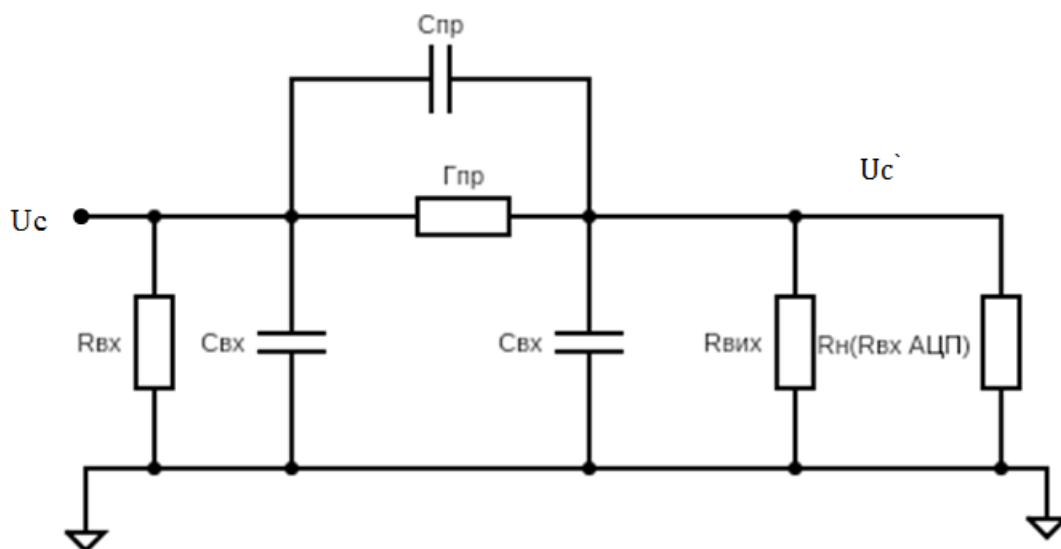


Рисунок 4.1.2 – Схема електрична еквівалентна

Опір каналу відкритого ключа $\neq 0$, а має значення $\Gamma_{\text{пр}}$ від 0 Ом до 300 Ом.

Найбільш поширені (K168 серії AD), мають $\Gamma_{\text{пр}} = 100$ Ом.

Тоді,

$$U_{с'} = \frac{U_{с}}{\Gamma_{\text{пр}} + R_{\text{н}}} \cdot R_{\text{н}}, \quad (2.1)$$

Де при $U_{с} = 5\text{V}$;

$\Gamma_{\text{пр}} = 100$ Ом;

$R_{\text{н}} = 10^6$ Ом.

$$Uc' = \frac{5}{100 + 10^6} \cdot 10^6 \approx 4.99V, \quad (2.2)$$

$$\gamma = \frac{Uc + Uc'}{Uc} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

$$\gamma = \frac{5 + 4.99}{5} \cdot 100\% = 1.99, \quad (2.4)$$

4.1.2 Розрахунок похибки АЦП

1. Похибка квантування:

$$\gamma_{KB} = \frac{U_{max} - U_{min}}{2^{10}}, \quad (2.5)$$

де $U_{max} = 5V$;

$U_{min} = 0V$;

$$\gamma_{KB} = \frac{5 - 0}{2^{10}} = 0,005 \quad (2.6)$$

2. Похибка диференційної нелінійності(адитивна похибка):

$$\gamma_{ДН} = \frac{5}{2^{10}} = 0,005 \quad (2.7)$$

3. Похибка інтегральної нелінійності(мультіплікативна):

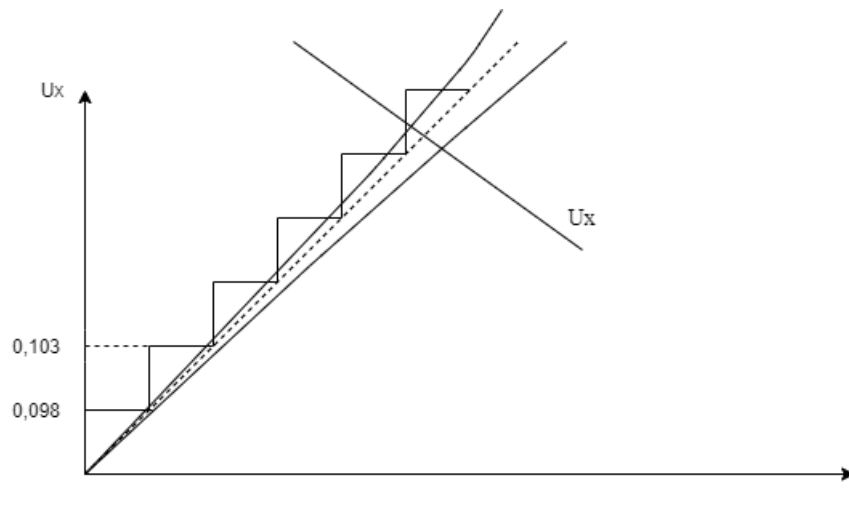


Рисунок 2.2.3 – Графік похибки інтегральної не лінійності

Згідно паспортних даних, похибку інтегральної нелінійності, беремо рівну половині молодшого розряду при 10-ти розрядному АЦП та 5V на вході, отримуємо рівняння:

$$\gamma_{\text{інт. нел.}} = \frac{5}{2 \cdot 1024} = 0,0024 \quad (2.8)$$

Аналогічним методом ми розраховуємо канали вимірювання вологості та кількості часток.

5. Розробка метрологічного забезпечення

5.1 Методика повірки EnergoM-3001-PM2.5/10 датчика

Методика відповідає вимогам № МП 2551-0040-2008. Затверджені технічні і метрологічні характеристики на досліджуваний засіб вимірювання наведено в Додатку 1.

5.1.1 Операції повірки

Під час проведення повірки виконують операції, які наведено в Таблиця 5.1.1 – Операції під час повірки

Таблиця 5.1.1 – Операції під час повірки

Найменування операції повірки	Номер пункту методики	Проведення операції під час повірки після ремонту	Проведення операції під час періодичної (позачергової) повірки
Зовнішній огляд	5.2.1	Так	Так
Перевірка працездатності	5.2.3	Так	Так
Перевірка електричного опору ізоляцій	5.2.6	Так	Так
Перевірка функціонування	5.2.7	Так	Так

Продовження таблиці 5.1.1

Визначення метрологічних характеристик приладів	5.3	Так	Так
Перевірка абсолютної похибки	5.3.1	Так	Так
Перевірка додаткової абсолютної похибки приладів, пов'язана із зміною температури	5.3.4	Так	Так
Перевірка абсолютної похибки при вимірюванні ЕРС	5.4	Так	Так
Перевірка абсолютної похибки при вимірюванні температури	5.4 Ошибка! Источник ссылки не найден.	Так	Так

Примітка: У випадку отримання негативних результатів будь-якої з операцій перевірка припиняється, прилад визнається не придатним до

застосування.

5.1.2 Засоби повірки

Перелік еталонів, засобів повірки та допоміжного обладнання наведено у Таблиця 5.1.2 – Еталонне та допоміжне обладнання

Таблиця 5.1.2 – Еталонне та допоміжне обладнання

Еталонні засоби повірки, допоміжне обладнання	Основні технічні характеристики	
	Діапазон вимірювання	Похибка, клас
Мегомметр М6-1	По супротиву (104 – 200 106) Ом По напруженню (0 - 1000) В	$\pm 5,0\%$
Еталонна аеродинамічна установка з діаметром зони різних швидкостей не менше 400 мм (АДС 700/100), з кутомірним пристроєм (координатним столом)	(0,1 – 100) м/с (0 – 360) градусів	$\pm 0,5\%$ ± 1 градус
Універсальна пробойна установка УПУ-10М	(0 - 8) кВ	$\pm 5,0\%$
Калібратор постійного напруження та тока програмуємий ПЗ20	100 мВ; 1,0 В; 10 В; 10 мА; 100 мА	$\pm 0,01\%$
Магазин опорів Р4831	(0 - 1000) Ом	$\pm 0,02\%$

Продовження таблиці 5.1.2

Мультиметр цифровий DM3000	100 мВ 1,0 В 10 В (по напр. пост. тока), 10 мА 100 мА (по пост. току)	$\pm 0,1\%$
Термометр супротиву еталонний ЭТС-100	(мінус 200 – 660)°С	$\pm 0,02^\circ\text{C}$
Кліматична термобарокамера	Об'єм – 8 м ³ по температурі (-70 – 100)°С, по вологості (0 – 100)% по тиску (500 – 1100) гПа	
Мультиметр типу HP-770НС	0 Ом -60 МОм та вихідною напругою (100 \pm 5) mV	

Дозволяється застосування інших еталонів та засобів повірки, що забезпечують повірку з необхідною точністю.

[1] Про затвердження визначень основних одиниць SI, назв та визначень похідних одиниць SI, десяткових кратних і частинних від одиниць SI, дозволених позасистемних одиниць, а також їх позначень та Правил застосування одиниць вимірювання і написання назв та позначень одиниць вимірювання і симВолів величин. затверджено наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 04 серпня 2015 року N 914, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 25 серпня 2015 року за N

5.2 Методика проведення повірки

5.2.1 Зовнішній огляд

Зовнішній огляд проводять візуально.

5.2.2 Результати вважаються задовільними, якщо під час зовнішнього огляду встановлено:

- комплектність приладу;
- відсутність зовнішніх пошкоджень, які заважають нормальному функціонуванню приладів, або призводять до порушень вимог безпеки праці, виробничої санітарії і охорони навколишнього середовища;
- з'єднання в роз'ємах живлення системи збору і обробки даних, датчиків повинні буди надійними.

5.2.3 Перевірка працездатності

Всі процедури, пов'язані з перевіркою працездатності та метрологічних характеристик приладів, виконують згідно з експлуатаційними документами.

5.2.4 Перед проведенням повірки необхідно перевірити заземлення для всіх засобів повірки згідно з експлуатаційними документами на них.

5.2.5 Під час перевірки працездатності виконують такі операції:

- перевірка електричного опору ізоляцій;
- перевірка функціонування.

5.2.6 Перевірку електричного опору ізоляцій виконують таким

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

чином:

Підключають мультиметр до клеми “Земля” та до контакту дроту живлення приладу, що повіряють. Через одну хвилину після прикладення випробувальної напруги фіксують покази мультиметра.

Покази мультиметра повинні становити не менше, ніж 10 кОм (або іншого значення, нормованого в експлуатаційними документами на прилад).

5.2.7 Перевірка функціонування

Вмикають живлення приладу і перевіряють функціонування вимірювальних каналів.

5.3 Визначення метрологічних характеристик приладів

5.3.1 Перевірка абсолютної похибки.

5.3.2 Абсолютну похибку приладів визначають як мінімум у трьох різних точках, рівномірно розподілених впродовж повного номінального діапазону вимірювання приладів методом прямих вимірювань.

5.3.3 Проводять вимірювання значень.

5.3.4 Перевірка додаткової абсолютної похибки приладів, пов'язаної зі зміною температури.

5.3.5 Критерієм позитивного результату перевірки вимірювального каналу вологості повітря при використанні перетворювачів температури та вологості є

<2% для діапазона 10—90%

<4% для діапазона 0—10 та 90-100%

5.4 Перевірка абсолютної похибки при вимірюванні вологості

5.4.1 Встановіть в кліматичній камері перетворювач температури та вологості і еталонний термогірометр.

5.4.2 Перед визначенням похибки вимірювань відносної вологості повітря необхідно витримати перетворювач і еталонний термогірометр в кліматичній камері протягом 30 хвилин.

5.4.3 Результати вимірювань документують у протоколі повірки.

5.4.4 Для визначення абсолютної похибки при вимірюванні температури потрібно провести по 10 вимірювань на кожній точці.

5.4.5 Обирають режим вимірювань температури та порівнюють еталонні значення з отриманими.

5.5 Вимоги щодо безпеки

5.5.1 Під час проведення повірки необхідно дотримувати вимог щодо безпеки умов праці, охорони навколишнього середовища, а також вказівок щодо техніки безпеки, наведених

в

					BM61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

експлуатаційних документах прилади та засоби повірки.

- 5.5.2 Приміщення, в яких виконують повірку, повинні бути обладнані пожежною сигналізацією та забезпечені первинними засобами пожежогасіння.
- 5.5.3 Обладнання у лабораторних приміщеннях повинно бути заземлене та захищене від статичної електрики.
- 5.5.4 Приміщення, в яких виконують роботи з повірки, повинно бути обладнане витяжною вентиляцією згідно з 5.5.5 та ДСТУ БА.3.2-12, водопровідною системою та каналізацією згідно з 5.5.7, штучним освітленням згідно з 5.5.6.
- 5.5.5 ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
- 5.5.6 ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.
- 5.5.7 ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація.
- 5.5.8 Концентрація шкідливих та небезпечних речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати ГПК.
- 5.5.9 Під час повірки треба використовувати засоби індивідуального захисту згідно з ДСТУ 7239.
- 5.5.10 До повірки допускаються фахівці, що вивчили інструкцію з техніки безпеки на робочому місці, принципи дії приладів і пройшли інструктаж з охорони праці в установленому порядку.
- 5.5.11 Процес проведення повірки не належить до робіт зі шкідливими умовами праці.

5.6 Умови проведення повірки

Повірку проводять за таких умов:

- температура навколишнього повітря – від $(25,0 \pm 10) ^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря – від 40 % до 90 %;

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- атмосферний тиск – від 900 гПа до 1000 гПа;
- автономне джерело живлення (батарея, акумулятор) або живлення від USB зі струмом від 45 мА до 50 мА безпосередньо або через адаптер;
- механічні впливи на прилади повинні бути відсутні.

5.7 Підготовка до проведення повірки

5.7.1 Перед проведенням повірки необхідно:

- пересвідчитись у наявності метрологічного маркування за результатами оцінки відповідності для тих приладів, що введені в обіг після набуття чинності технічного регламенту - або свідоцтва про попередню повірку, відбитка повірочного тавра тощо;
- перевірити наявність експлуатаційного документа;
- перевірити наявність метрологічної характеристики приладу;
- за потреби, перевірити наявність документів, що підтверджують результати калібрування та повірки чи калібрування допоміжних засобів повірки;
- перевірити наявність діючих документів, які свідчать про повірку вимірювального пристроюю якій повіряють;
- технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2016 р. № 94;
- прилади та засоби повірки витримують в приміщенні, в якому проводять повірку, до вирівнювання їх температури з температурою приміщення але не менше двох годин.
- проводять підготовку, пристроїв та допоміжного обладнання відповідно до їх експлуатаційного документа;
- проводять підготовку приладів до роботи відповідно до експлуатаційного документа;
- прилади, що підлягають повірці, повинні бути градуйовані відповідно до експлуатаційного документа;
- Задають номінальну температуру 25 °С і вмикають його.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

5.8 Обробка результатів вимірювання

5.8.1 За результатами вимірювань, отриманих згідно з 5.4.1 оцінюють абсолютну похибку вимірювання.

$$\Delta B_{\Pi} = | B_{\text{эт}} - B_{\text{изм}} | \quad (5.1)$$

де $B_{\text{эт}}$ – еталонне значення вологості ;

$B_{\text{изм}}$ – вимірювальне значення вологості .

Критерієм позитивного результату перевірки є

<2% для діапазона 10—90%;

<4% для діапазона 0—10 та 90-100%.

5.8.2 За результатами вимірювань, отриманих згідно з 5.4.2

$$\Delta T_{\text{в}} = | T_{\text{эт}} - T_{\text{изм}} | \quad (5.2)$$

де $T_{\text{эт}}$ – еталонне значення температури ;

$T_{\text{изм}}$ – вимірювальне значення температури .

Критерієм позитивного результату перевірки є $\Delta T \leq \pm 0,3^{\circ}\text{C}$.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

5.8.3 Результати розрахунків повинні бути задокументовані у протоколі повірки.

5.9 Оформлення результатів повірки

5.9.1 Результати повірки приладів вважають позитивними, якщо їх метрологічні і технічні характеристики відповідають вимогам, встановленим під час оцінки відповідності за технічним регламентом або національними стандартами, що надають презумпцію відповідності технічному регламенту.

5.9.2 Позитивні результати повірки приладу засвідчують оформленням свідоцтва про повірку приладів.

5.9.3 У разі негативних результатів анулюють свідоцтво про повірку та оформлюють довідку про непридатність приладу.

5.9.4 Копії свідоцтв про повірку або довідок про непридатність зберігають.

5.9.5 За результатами експертної повірки персонал, який проводив повірку, складає висновок у довільній формі.

5.9.6 За результатами інспекційної повірки складають довідку, яку підписує персонал, що проводив повірку, та керівник організації виконавця.[8]

Висновок

В результаті виконання дипломного проекту мною було розроблена ИВС яка дозволяє вимірювати:

- Температуру
- вологість
- кількість часток

В процесі роботи над дипломним проектом мною розроблено демо-версія(діючий макет ИВС) , підібрані первинні вимірювальні перетворювачі, розроблена метрологічне забезпечення ИВС

Потреба в таких вимірювальних системах приблизна 1000 систем на рік.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Додаток А

Використані джерела інформації

1. Освітня система <http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/course/view.php?id=700>
2. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. Высшая школа. Киев. 1983 г.
3. Клименко, А. П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли [Текст] / А. П. Клименко. — М.: Химия, 1978. — 203 с.
4. Максименко, Ю. Н. Переносной оптический пылемер ВОГ-2 [Текст] / Ю. Н. Максименко, Е. Г. Мазан, А. К. Тимин // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. — 2010. — Вип. 40. — С. 81–86.
5. Довідники, каталоги та інтернет-ресурси сучасних мікросхем
6. Бойко В.А., Клименко Ю.В., Корнейчук В.И. Курсовые и дипломные проекты. Требования к оформлению документации. –К.Корнійчук, 2003,–176с.
7. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні положення, назви та позначення.
8. Методика поверки [електронний ресурс] - <http://www.hydro-meteo.ru/doc/>
9. Класифікація методів вимірювання [електронний ресурс] - <http://metrology.com.ua/metrologiya-nauka/113-sit-i-izmereniya/1056-klassifikatsiya-metodov-izmerenij>
- 10.Вартанов, А. З. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг [Текст] / А. З. Варта- нов, А. Д. Рубан, В. Л. Шкуратник. — М.: Горная книга, 2009. — 640 с
- 11.Барикаева, Н. С. Анализ особенностей нормирования запыленности атмосферного воздуха в странах ЕС и РФ [Текст] / Н. С. Барикаева, Е. А. Ка- люжина // Научные исследования и их практическое применение.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Современ- ное состояние и пути развития 2011 : по материалам
Междунар. науч.-практ. конф., 04-15 октября 2011 г. : сб. науч. тр.
SWorld. Т. 30. Физическое воспи- тание и спорт. Биология. - Одесса :
Черноморье, 2011. - С. 75-77.

- 12.Орнатский П.П. «Автоматические измерения и приборы». Высшая
школа. Киев. 1986 г.
- 13.Азаров, В. Н. О нормировании качества воздуха рабочей зоны [Текст] /
В. Н. Азаров, О. К. Барсуков, А. Г. Круглов // Вестн. Волгогр. гос.
архит.- строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. - 2009. - № 16. - С.
162–165.
- 14.Справочники и каталоги иностранных, и отечественных элементов.
- 15.Новицкий «Оценка погрешностей измерений»
- 16.Просви́ров, А. А. Негативное воздействие автотранспорта на окружаю-
щую среду [Текст] / А. А. Просви́ров // Молодежь и научно-
технический про- гресс в дорожной отрасли Юга России : материалы I
студ. науч.-техн. конф. (24–26 апреля 2007 г.). – Волгоград : Изд-во
ВолгГАСУ, 2007. - С. 29–30.
- 17.Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних чинників в
атмосферному повітрі населених місць”, затверджені т.в.о. Головного
державного санітарного лікаря України від 03.03.2015 року.
- 18.Азаров, В. Н. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM10 и
PM2,5) в атмосфере городов [Текст] / В. Н. Азаров, Н. А. Маринин, Д.
В. Жого- лева // Изв. Юго-Запад. гос. ун-та. - 2011. - № 5, ч. 2. - С. 144-
148.
- 19.Барикаева, Н. С. Анализ особенностей нормирования запыленности
атмосферного воздуха в странах ЕС и РФ [Текст] / Н. С. Барикаева, Е.
А. Ка- люжина // Научные исследования и их практическое
применение. Современ- ное состояние и пути развития 2011 : по
материалам Междунар. науч.-практ. конф., 04-15 октября 2011 г. : сб.
науч. тр. SWorld. Т.

					ВМ61-1.411415.001 ПЗ	Арк.
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

30. Физическое воспитание и спорт. Биология. - Одесса : Черноморье, 2011. - С. 75-77.
- 20.Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.– 143 с
- 21.МЕТОДИКА ПОВЕРКИ № МП 2551-0040-2008
- 22.Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 р. № 2707-ХІІ // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 50. – Ст. 678.
- 23.ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІГІЄНИЧНОЇ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ Ананьєва Оксана Василівна
- 24.Природа и классификация частиц [Электронный ресурс]. - URL: http://dustmonitors.ru/priroda_i_klassifikaciyu (дата обращения: 6.08.11).
- 25.Грин, Х. Аэрозоли - пыли, дымы и туманы [Текст] : моногр. / Х. Грин, В. Лейн. - Химия, 1972. - 427 с.
- 26.Мосер, П. Чего только нет в пыли? / П. Мосер // Наука и жизнь. - 1988. - № 6. - URL: <http://n-t.ru/tp/mr/np.htm> (дата обращения: 6.08.11).
- 27.Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних чинників в атмосферному повітрі населених місць”, затверджені т.в.о. Головного державного санітарного лікаря України від 03.03.2015 року.
- 28.Вартанов, А. З. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг [Текст] / А. З. Вартанов, А. Д. Рубан, В. Л. Шкуратник. — М.: Горная книга, 2009. — 640 с

Додаток В

Технічні характеристики Arduino Uno

Характеристики Arduino Uno

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	6
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	32 КБ (ATmega328) из которых 0.5 КБ используются загрузчиком
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Arduino - це відкрита платформа. Будь-який бажаючий може скачати схему з офіційного сайту або одного з популярних форумів, а потім зібрати плату на основі контролера ATmega. Необхідні електронні компоненти можна досить не дорого купити в безлічі інтернет-магазинів

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма «Метрологія та вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Острожному Миколі Миколайовичу

1. Тема проєкту «Інформаційно-вимірювальна система параметрів атмосферного повітря», керівник проєкту Павлишин Микола Михайлович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту

Температура, вологість, кількість часток

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

Технічне завдання

Аналітичний огляд метрологічних та технічних характеристик відомих аналогів

Розробка схеми електричної структурної

Розробка схеми функціональної

Розробка алгоритму та часових діаграм

Метрологічне забезпечення

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Структурна схема

Схема електрична функціональна

Функціональна схема

6. Дата видачі завдання 5 лютого 2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Дослідження проблемного об'єкту	25.02.2020	
2	Розробка та затвердження технічного завдання	05.03.2020	
3	Розробка структури виробу	20.03.2020	
4	Розробка функціональної схеми виробу	10.04.2020	
5	Розробка схем принципів окремих модулів	20.04.2020	
6	Розрахунки показників якості виробу	10.05.2020	
7	Висновки	20.05.2020	
8	Оформлення дипломного проєкту	25.05.2020	

Студент

Микола ОСТРОЖНИЙ

Керівник

Микола ПАВЛИШИН